

SAIMAAN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikka, Lappeenranta
Rakennustekniikka

Jarkko Karhu

SORAMURSKEEN 0/16 KÄYTTÖ VALMISBE- TONITUOTANNOSSA

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

Jarkko Karhu

Soramurskeen 0/16 soveltuvuus valmisbetonituotannossa, 29 sivua, 8 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Tekniikka, Rakennustekniikka

Rakennustuotanto

Ohjaajat: Tuntiopettaja Vesa Inkilä, Aluepäällikkö Marko Wasama

Työssä tutkittiin mahdollisuutta korvata 0/16 soramurskeella nykyisiä käytössä olevia kiviaineslajikkeita. Tutkimusta varten valmistettiin erä kiviainesta, jota käytettiin testimassojen valmistuksessa. Kiviainekselle tehtiin SFS-EN standardien betonikiviainekselle vaatimat testit. Betonin valmistuksen kannalta tärkeimmät selvitettävät ominaisuudet olivat hienoaines määrä, humuspitoisuus, rakeisuus ja raemuoto.

Betonista valmistettiin kaksi koemassaa käyttämällä 0/16 soramursketta ja filleriä. Kolmanteen koemassaan lisättiin 8/16 sorasepeliä. Koemassoista mitattiin painuma, lämpötila, ilmamäärä ja puristuslujuus. Koemassojen tutkimustuloksia vertailtiin vastaaviin massoihin, jotka olivat tehty useammasta kiviaineksesta normaalin käytännön mukaan.

Laboratoriotutkimusten perusteella kiviaineksesta ei löytynyt sen käyttöä estäviä tuloksia. Betonimassojen osalta koetulokset olivat yhtenevät vertailumassojen tulosten kanssa. Tavoitelujuuksien erot vertailumassoihin eivät olleet suuria. Normaalimassan osalta koetulokset olivat jopa paremmat kuin vertailumassoilla. Tutkimustulosten pohjalta 0/16 soramurske otetaan testikäyttöön betonitehtaalla.

Tutkimustyö on tehty Rudus Oy:n toimeksiantona. Opinnäytetyön tutkimustuloksia käytetään hyödyksi 0/16 soramurskeen käyttöön otossa betonitehtailla.

Avainsanat: kiviaines, betoni, soramonttu

ABSTRACT

Jarkko Karhu

Introduction of crushed stone 0/16 in a mixing plant, 29 pages, 8 appendices

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Technology, Civil and Construction Engineering

Final Year Project 2010

Instructors: Mr. Vesa Inkilä Senior lecturer, Saimaa University of Applied Sciences; Mr. Marko Wasama, Area manager, Rudus Ltd

This project was researching the possibility of using 0/16 crushed stone in a mixing plant. For this project two different kind of aggregates were made and used in mixing of fresh concrete. The quality control of aggregates was according to Finnish Standards Association. The most primary tests for aggregates were determination of particle size distribution, organic impurity, assessment of fines, and flakiness index.

Three different kinds of fresh concrete testmixes were made in the project. The most primary tests for fresh concrete and test samples were slump test, fresh concrete temperature, air content and crushing strength. The test results were compared to fresh concrete made of normal aggregates.

According to the laboratory test results 0/16 crushed stone is usable in a mixing plant. In the near future this aggregate will be tested in mixing plant production.

Keywords: aggregates, concrete, pit

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	5
2 KIVIAINES	7
2.1 Suomen rakennusmääräyskokoelman viranomaisohje.....	7
2.2 Kiviaineksen tuotanto.....	7
2.2.1 Seulonta	8
2.2.2 Murskaus	8
2.3 Kiviaineksen varastointi	9
3 LABORATORIOTESTIT	11
3.1 Kiviainestestit.....	11
3.2 Kiviaineksen laboratoriotutkimukset.....	12
4 TESTIMASSAT	15
4.1 Koemassoille tehdyt testit	15
4.2 Testimassojen laboratoriotutkimukset.....	15
4.2.1 Lattiamassa	16
4.2.2 Säänkestävä lattiamassa.....	17
4.2.3 Normaalimassa	18
4.2.4 Koetulokset.....	18
4.3 Tulokset	20
4.3.1 Koekappaleet	20
4.3.2 Betonin tiheys.....	21
4.3.3 Sementtimäärät	23
4.3.4 Koekappaleiden puristuslujuudet.....	23
5 PÄÄTELMÄT	27
KUVAT	28
TAULUKOT	28
LÄHTEET	29

LIITTEET

- LIITE 1 BETONISORAN 0/16 RAKEISUUSKÄYRÄ
- LIITE 2 SORAMURSKEEN 0/16 RAKEISUUSKÄYRÄ
- LIITE 3 KIVIAINESLAJIKKEIDEN NÄYTTEENOTTOTAAJUUS
- LIITE 4 LITTEYSLUVUN TESTILOMAKE
- LIITE 5 YKSINKERTAISTETTU PETROGRAFINEN KUVAUS
- LIITE 6 ANNOSRAPORTTI NORMAALIMASSA
- LIITE 7 ANNOSRAPORTTI KUPUHIERTO
- LIITE 8 ANNOSRAPORTTI SÄÄNKESTÄVÄ KUPUHIERTO

1 JOHDANTO

Kiviaines vaikuttaa betonireseptin taloudellisuuteen pääasiassa kolmella eri tavalla. Ensimmäiseksi siihen vaikuttaa kiviaineksen hinta, joka vaihtelee tuotantokulujen ja kuljetusmatkojen mukaan. Toiseksi siihen vaikuttaa kiviaineksen laatuvaihteluiden aiheuttama ylilujuus betoniresepteissä, mikä varmistetaan käyttämällä riittävää sementtimäärää. Kolmantena tekijänä on kiviaineksen ominaisuuksien vaikutus betonireseptin vesi- sementtimäärään: esimerkiksi kiviaineksen kyky imeä vettä vaihtelee, jolloin vesimäärää joudutaan korjaamaan. Vastaavasti lisättäessä veden määrää myös sementtimäärää joudutaan lisäämään massan notkeuden pitämiseksi tasaisena. (Kiviainesten ominaisuuksien vaikutus betonin ominaisuuksiin.)

Nykyään valmisbetonin valmistuksessa käytetään useita eri kiviaineslajeja. Yleisimmin käytössä ovat filleri, 0/8 betonisora, 8/16 ja 16/32 sorasepeli. Kiviaineksen osuus betonista on noin 70 % ja näin sen osuus betonin valmistuksessa ja kustannuksissa on suuri. (Kiviainesten ominaisuuksien vaikutus betonin ominaisuuksiin.)

Työssä tutkittiin 0/16 betonisoran käyttöä valmisbetonin valmistuksessa, tavoitteena vähentää 8/16 sorasepelin käyttöä mahdollisimman paljon. Sorasepelin 8/16 sivutuotteena syntyy noin kolminkertainen määrä 0/8 betonisoraa, mikä aiheuttaa kuluja ja tilantarvetta varastoinnissa sora- ja soramontulla. Betonisoran 0/16 käytössä olisi hyötynä raakakiviaineksen parempi hyödyntäminen sora- ja soramontun rintauksesta, nopeampi tuotantoteho ja varastokulujen pienentäminen.

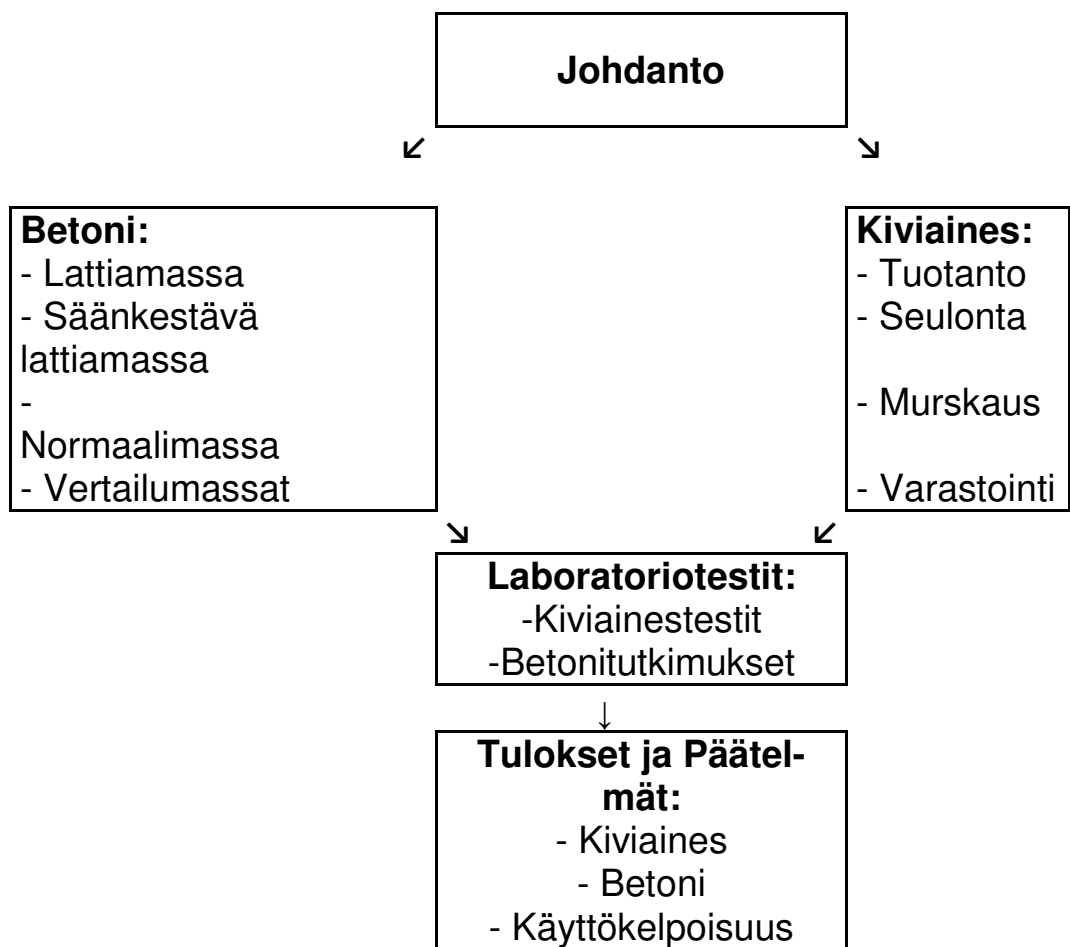
Kiviaineksen osalta tutkimuksessa käsiteltiin tuotantoa, varastointia ja kiviainestestejä. Tuotantoa kokeiltiin seulomalla ja murskaamalla. Kiviainestestit tehtiin standardien SFS-EN mukaisesti. Varastointi käsiteltiin kirjan Betonin kiviainekset 2008 by 43:n mukaisesti.

Tutkimuksessa valmistettiin kolme eri koemassaa käyttämällä 0/16 sora- ja soramursketta: lattiamassa, säänkestävä lattiamassa ja normaalimassa. Betonitutkimuk-

set tehtiin myös standardien SFS-EN mukaan. Vertailumassoina käytettiin betonitehtailla aiemmin tehtyjä massoja.

Tutkimustuloksissa ja päätelmissä käsitellään 0/16 soramurskeen käyttökelpoisuutta betonituotannossa. Tutkimuksessa ei ole otettu kantaa soramurskeen tuomiin säästöihin ja ympäristövaikutuksiin. Taulukossa 1. on esitetty työnkulku yksinkertaistettuna.

Taulukko 1. Työn kulku



2 KIVIAINES

2.1 Suomen rakennusmääräyskokoelman viranomaisohje

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa B4 on laadittu vaatimukset kiviaineksen ominaisuuksille. Betonin runkoaineena voidaan käyttää tavallisia tai raskaita luonnon kiviaineita, malmipitoisia kiviaineita taikka kevytsoraa. Muiden mineraalipitoisten aineiden käyttö runkoaineena tulee erikseen tutkia ennakkokokein, jotta valmistettu betoni on laadullisesti vaatimukset täyttävää ja tarkoitukseen soveltuvaa. Runkoaineet eivät saa olla rapautuneita tai muilta ominaisuuksiltaan sellaisia, että ne vaikuttaisivat haitallisesti tuoreen tai kovettuneen betonin ominaisuuksiin. Runkoaineiden kloridipitoisuus ei saa ylittää 0,02 painoprosenttia vesiliukoisena kloridina (Cl) ilmaistuna. 1- ja 2- luokan betonia valmistettaessa kiviaines on lajiteltava niin moneen osaan, että rakeisuus hallitaan valmistettavalle betonille asetettavat vaatimukset huomioon ottaen. (Suomen rakennusmääräyskokoelma osa B4.)

Tuotettu betonisora täyttää rakennusmääräyskokoelman osan B4 vaatimukset. Runkoaineen kloridipitoisuus koskettaa käytännössä vain merikiviaineksia. Merialueiden ulkopuolella ainoastaan joissain tapauksissa kuljetuksen aikana jäänsulatusaineista johtuen kiviaineksen kloridipitoisuus on voinut nousta. Tällöin kiviaineksen kloridipitoisuus tulee erikseen kokein määrittää. Testimassoja varten ei ollut syytä olettaa, että kiviaineksen kloridipitoisuus olisi ollut liian suuri. (Betonin kiviainekset 2008 by 43)

2.2 Kiviaineksen tuotanto

Testimassoissa käytetty kiviaines tehtiin talviaikana, jolloin tuotanto ei ole yhtä helppoa kuin kesäaikana. Kovien pakkasten takia rintausta avattiin reilu viikko, jotta kiviainesmurskalle saatiin tavaraa laajemmalta alueelta. Rintauksen avaamisella tarkoitetaan lumen ja routakerroksen poistoa. Laaja otanta rintauksesta on tärkeää tuotetun kiviaineksen tasalaatuisuuden kannalta. Liian suppealta alueelta otettu raaka-aines ei välttämättä ole tasalaatuista koko rintaukseen ver-

rattuna. Näin ollen se voi vääristää tuloksia merkittävästi. Tarvittaessa rintaudesta sekoitetaan erillinen kiviaineskasa, josta kiviaines syötetään murskalle. Näin varmistetaan syntyvän kiviaineslajikkeen tasalaatuisuus parhaiten. (Betonin kiviainekset 2008 by 43.)

Tekopäivä oli aurinkoinen ja selkeä, joten sää ei sotkenut kiviaineksen tekemistä. Ensin seulottiin 0/16 betonisoraa noin 50 tonnia, ja tämän jälkeen murskattiin soramursketta 50 tonnia.

2.2.1 Seulonta

Seulottu betonisora jäi hienorakeisemmaksi kuin murskaamalla tehty. Liitteessä 1 on esitetty betonisoran rakeisuuskäyrä. Lisäksi 16 mm luonnonkiven riittävyys soramontun rintauksessa on vaihtelevaa ja näin ollen kiviaineksen rakeisuuden tasalaatuisuuden varmistaminen olisi vaikeaa. Yksittäisissä tapauksissa voi löytyä soramonttu, jonka rintausten kivipitoisuus on niin suuri, että seulomalla tehty betonisora olisi riittävän karkearakeista betonin valmistukseen. Käyttämällämme soramontulla näin ei kuitenkaan ollut, ja tällä perusteella hylkäsimme ajatuksen seulotun luonnonsoran käytöstä testimassoissa.

2.2.2 Murskaus

Murskaamalla tehty erä oli rakeisuudeltaan karkeampaa. Liitteessä 2 on esitetty soramurskeen rakeisuuskäyrä. Murskeeseen syötettiin 0/8 kivituhka mukaan ja lisäksi murskattiin kiveä, jolla lisättiin 16 mm kiven pitoisuutta murskeessa. Tällä tekniikalla kiviaineksen rakeisuus pysyy tasalaatuisena ja laadunvaihtelu on pientä. Murskatun kiviaineksen rakeisuuskäyrä oli melko lähellä vertailumassan betonireseptin tavoiteltua suhteituskäyrää, joten tämä kiviaines valittiin käytettäväksi testimassoihin.

Murskeen sivutuotteeksi jäi vain seulan ylitekivet. Sivutuotteella tarkoitetaan kiviaineslajikkeita, joita syntyy murskalta yhdenaikaisesti tehtäessä haluttua lajiketta. Tässä tapauksessa seulan ylitekivet olivat sivutuote. Ylitekivillä tarkoitetaan kiviä, jotka seuloontuvat murskalta ylimääräisenä omaan kasaansa. Kivet

voidaan käyttää uudelleen tehtäessä muita lajikkeita tai vaihtoehtoisesti ajaa läpi uudelleen murskan syöttimestä.

Ylimääräisten sivutuotteiden hävittyä tuotannosta, tuotantokulut montulla pienenevät. Kiviaines voidaan varastoida yhteen kasaan kahden eri kasan sijasta. Työskentely, varastointi ja liikkuminen muuttuvat soramontulla sujuvammaksi. Työturvallisuus paranee pyöräkoneen ajoreittien muututtua yksinkertaisemmiksi. Soramurskeen tuotantonopeus oli myös nopeampaa kuin tehtäessä 0/8 betonisoraa ja 8/16 sorasepeliä. Näin ollen tuotantotehokkuus kasvaa ja ympäristöhaitat pienenevät.

2.3 Kiviaineksen varastointi

Kiviaineksen varastointi (kuva 1) on yksi tärkeimmistä asioista valmisbetonin valmistuksessa. Vaikka kiviaines olisi laadultaan tasaista ja käyttökelpoista tuotantovaiheessa, väärin toteutettu varastointi voi estää kiviaineksen käytettävyyden valmisbetonituotannossa. Betonireseptit ovat todella arkoja kiviaineksen rakeisuuden vaihtelulle. Aina kun kiviaineksen laatu vaihtuu jollain tavalla, betonimylläri joutuu muokkaamaan betonireseptiä, mikä aiheuttaa lisää työtä tehtaalla ja pahimmillaan käyttökeltottomia betonikuormia.

Varastoitaessa kiviainesta on käytettävä sellaisia menetelmiä, ettei lajittumista tai kiviainesten likaantumista pääse tapahtumaan. Varastoinnissa noudatetaan Betonin kiviainekset 2008 by 43:n ohjeita.

Varastointipaikka valitaan niin, että alueen kantavuus riittää ja pohja on tasainen. Varastointi on siis lähes aina mahdollista soramontun pohjalla, mikäli varastointitilaa on tarjolla. Varastokasan pohjaan suositellaan laitettavaksi noin 20 cm:n kerros hienompaa kiviainesta. Tämä estää pohjamaan ja varastoitavan kiviaineksen sekoittumisen. Varastokasanpohjana voi käyttää vaaleaa kiviainesta, esimerkiksi kalkkikiveä. Tällöin kiviainesta kuormattaessa on selkeästi havaittavissa, milloin kasanpohja tulee vastaan. Varastoalueen tulee olla niin laaja, että varastokasat ovat selkeästi erillään toisistaan. Tällöin estetään kiviainesten se-

koittuminen keskenään. Riittävät kasojen välit takaavat pyöräkoneiden ja kuorma-autojen turvallisen ja vaivattoman liikkumisen.



Kuva 1. Kiviaineksen varastointi kerroksittain

Jos kiviainekset varastoidaan kerroksittain, tuotteen tasalaatuisuus paranee, mutta toisaalta kiviaines saattaa ajoväylien kohdalta hienontua. Kuvassa 1 on esitetty kiviaineksen varastointi kerroksittain. Sekoittuneet ja hienontuneet osuudet tuotteen varastokasasta täytyy kuormauksen yhteydessä poistaa asiakkaalle ajettavasta materiaalista.

Varastoinnissa tulee aina huolehtia siitä, että kasaan ei pääse epäpuhtauksia, esimerkiksi suuria kiviä tai puun palasia. Pitkään seisonut varastokasa sammaloituu ja ympäri kasaa alkaa kasvaa pienkasvustoa. Tämä kasvattaa kiviaineksen humuspitoisuutta ja estää käytön valmisbetonituotannossa. Talvella tulee myös huolehtia lumien poistosta. Kuormattaessa roudan jäädyttämät suuret

kamit siirretään sivuun ja kuorma tehdään sulasta kiviaineksesta. (Betonin kiviainekset 2008 by 43.)

3 LABORATORIOTESTIT

3.1 Kiviainestestit

Ennen valmisbetonin valmistusta käytettävien raaka-aineiden ominaisuudet pitää olla tiedossa. Laatu varmistetaan standardien SFS-EN mukaisilla testeillä, mikäli tavoitellaan rakennusmääräyskokoelman mukaista vaatimustasoa. Rakennusmääräyskokoelman vaatimukset takaavat materiaalin käytön luotettavuuden. Kiviainekselle vaaditut testit löytyvät kirjasta Betonin kiviainekset 2008 by 43. Testeistä osa tehdään tarvittaessa, riippuen betonin käyttökohteesta. Testivälit on määritetty liitteessä 3.

Betonintuotantoa ajatellen testasin rakeisuuden, hienoainesmäärän, humuspiitoisuuden, raemuodon, kiintotiheyden, vedenimeytymisen ja petrografisen koostumuksen. Näillä testeillä on suurin merkitys betonin käytettävyyden kannalta. Mikäli jokin testeistä ei läpäisisi vaadittuja tuloksia, kiviainesta ei voi käyttää betonituotannossa.

Kiviaineksen rakeisuus määritetään tuotannon aikaisessa laadunvalvonnassa standardin SFS-EN 933-1, seulontamenetelmä, mukaisesti kuivaseulontana. Testissä materiaali jaetaan seulasarjan avulla useisiin kooltaan yhä pieneneviin raekokoluokkiin. Seula-aukkojen koot ja seulojen lukumäärä valitaan näytteen luonteen ja vaadittavan tarkkuuden mukaisesti. Kullekin seulalle jääneiden raakoiden massaa verrataan koko näytteen alkuperäiseen massaan. Kunkin seulan läpäissyt yhteenlaskettu prosenttiosuus ilmoitetaan numeerisesti ja vaadittaessa graafisesti. Kiviainestuotteet nimetään niiden raekoon mukaisesti kahden seulakoon avulla.

Kiviaineksen hienoainesmäärä määritetään pesuseulonnalla standardin SFS-EN 933-1, seulontamenetelmä, mukaisesti. Näyte pestään ja otetaan talteen

0,063 mm seulalle jäänyt kiviaines. Tämän jälkeen näyte kuivataan ja tuloksena ilmoitetaan 0,063 mm seulan läpäisevän kiviaineksen määrä.

Kiviaineksen humuspitoisuus määritetään standardin SFS-EN 1744-1 mukaisella kokeella. Testissä syntyvän liuoksen väri ei tummuudeltaan saa ylittää standardiliuoksen tummuutta. Lisäksi kiviaineksissa ei saa olla silmin havaittavia epäpuhtauksia.

Karkean murskatun tai osittain murskatun kiviaineksen raemuoto määritetään standardin SFS-EN 933-3, litteysluku, mukaisesti. Kiviaineksen litteysluku ei saa ylittää valitun luokan sallittua enimmäisarvoa. Litteyslukuluokka tulee valita betonityypin, betonin käyttökohteen ja/tai betonin siirtomenetelmien perusteella.

Kiviaineksen kiintotiheys määritetään standardin SFS-EN 1097-6 mukaisesti. Kiintotiheys lasketaan massan suhteesta tilavuuteen. Massa määritetään punnitsemalla testinäyte kyllästetyssä pintakuivassa tilassa sekä uudelleen uuni-kuivana. Tilavuus määritetään sen veden massasta, jonka näyte syrjäyttää verkkokorimenetelmässä.

Kiviaineksen vedenimeytyminen määritetään standardin SFS-EN 1097-6 mukaisesti. Testissä tutkitaan näytteen massan lisäys, joka aiheutuu veden tunkeutumisesta uunikuivatun kiviainesnäytteen avoimiin huokosiin.

Kiviaineksen petrografinen määrittäminen tehdään standardin SFS-EN 932-3 mukaisesti. Petrografisessa kivilajimäärittäyksessä selvitetään kivilajin mineraalikoostumus, mikrorakenne ja synty tapa.

3.2 Kiviaineksen laboriotutkimukset

Aloitin kiviainestutkimuksen sen rakeisuuden määrittämisellä. Tämä tapahtui ottamalla näyte murskalta. Näyte jaettiin laboratoriossa jakolaatikolla oikean kokoiseksi. Koska näyte oli murskattu, tein varmuuden vuoksi pesuseulonnan, josta selviää samalla kiviaineksen hienoainesmäärä. Näytteen kuivettua seuloin sen ja syötin punnitustulokset tietokoneelle CEkiti-ohjelmaan, joka kuuluu Ru-

dus Oy:n ohjelmistoon. Ohjelma piirtää rakeisuuskäyrän, jolle on erikseen määritetty ohjealue. Vaadittu ohjealue on joko betoninormista tai itse tilaajan määrittämä. Taulukossa 2. on esitetty yhteenveto kiviaineksen laboratoriotestien tuloksista.

Taulukko 2. Kiviainestestien tulokset ja luokitus

	Tulos	Luokitus
Hienoainesmäärä	2,10 %	f ₄
Humus	Kirkas	Normaali
Raemuoto	7,8	FI ₁₀
Kiintotiheys	2,61 Mg/m ³	Normaali
Vedenimeytyminen	0,50 %	Normaali
Petrografia	Soveltuu betonikiviainekseksi	

Rakeisuuden ohessa tein humus-, vedenimu-, kiintotiheys-, raemuoto- ja hienoainespitoisuustestit. Humus, vedenimu, kiintotiheys ja hienoainespitoisuustestien tulokset vaativat 24 tunnin testausajan, jotta tulokset saadaan selville.

Humustesti on suuntaa antava. Testi voi ilmaista haitattomien hiili- ja rautapi-toisten aineiden läsnäolon. Kuitenkaan kaikki haitalliset humushapot eivät värjää humuskokeessa käytettävää NaOH-liuosta (Betonin kiviainekset 2008 by 43.) Humustestin tulos oli täysin kirkas, joten testattu kiviaines ei sisällä hu-musta. Testiliuosta verrattiin standardiliuokseen.

Hienoainesmäärä oli 2,1 %. Pääsääntöisesti hienoainesmäärän haitallisuus al-kaa vaikuttaa yli 3 %:n pitoisuuksissa. Vaikutus näkyy vesimäärän kasvuna ja betonireseptin suuressa vedentarpeessa. Tällöin hienoainesmäärän laatu kan-nattaa tutkia. Mikäli tulos on alle 3 %, hienoainesmäärän vaikutusta ei erikseen tarvitse tutkia. Hienoainesmäärä vaikuttaa betonin työstettävyyteen ja koossa-pysyvyyteen, kun side- ja seosainemäärä on alhainen. (Betonin kiviainekset 2008 by 43.)

Vedenabsorptioksi mitattiin 0,5 %, joka vastaa normaalin rapautumattoman kiviaineksen vedenimeytymiskykyä. Mikäli tulos olisi ollut 1,0 – 1,5 %, kiviaines olisi jonkin verran rapautuvaa. Vedenabsorption vaikutus näkyy betonin työstettävyydessä. Mitä suurempi kiviaineksen vedenabsorptio on, sitä enemmän massa vaatii suhteessa vettä. Käytettäessä saman soramontun kiviainesta pitoisuus pysyy samana eikä vaihtelua tapahdu. Näin ollen betonireseptin arvoja ei tältä osin tarvitse jatkuvasti muokata. (Betonin kiviainekset 2008 by 43)

Kiintotiheys oli $2,61 \text{ Mg/m}^3$ eli kiviaines on kiintotiheysluokituksestaan normaalia kiviainesta. Sorasta valmistettujen kiviainesten kiintotiheyksissä ei yleensä ole samasta ottopaikasta otettaessa merkittäviä eroja. Näin ollen kiintotiheyden vaihtelun aiheuttamat tilavuusvirheet betonimassassa vältetään. (Betonin kiviainekset 2008 by 43.)

Kiviaineksen raemuoto vaikuttaa betonin siirtomenetelmiin ja puristuslujuuksiin. Suuri litteysluku estää betonin pumppaamisen ja on osatekijä heikossa loppulujuudessa. Alhainen loppulujuus johtuu siitä, että litteät partikkelit eivät pysty ottamaan yhtä suurta kuormaa vastaan kuin vastaavan kokoluokan kuutiolliset/pyöreät rakeet. (Kiviainesten ominaisuuksien vaikutus betonin ominaisuuksiin) Liitteessä 4 on esitetty litteysluvun testilomake. Soramurskeen litteysluku oli 7,8 eli litteyslukuluokaksi saadaan FI₁₀. Tämä on tiukin kiviaineksen raemuodolle vaadittu litteyslukukuokkavaatimus. Litteysluvun puolesta kiviainesta voidaan käyttää korkealujuusbetonia tai itsestään tiivistyvää betonia valmistettaessa. Normaaliin betonituotantoon soveltuu myös luokka FI₁₅, tällöin litteysluvun tulee olla ≤ 15 . (Betonin kiviainekset 2008 by 43.)

Soramontulta on jo aiemmin teetätetty petrografiatutkimus (Liite 4), joka on edelleen voimassa, joten uutta tutkimusta ei tehty. Tutkimuksen mukaan kiviaines on heterogeeninen graniittinen sora, eli vallitseva kivilaji on graniitti. Kiviaines soveltuu tulosten mukaan betonikiviainekseksi.

4 TESTIMASSAT

4.1 Koemassoille tehdyt testit

Painuman mittaus suoritetaan standardin SFS-EN 12350-2 mukaan. Painumakokeella määritetään tuoreen betonin notkeus. Betonin notkeus vaikuttaa sen työstettävyyteen. Notkeaa massaa on helppo työstää mutta se on alttiimpi plastisille ja pitkäaikaisille muodonmuutoksille, joten erottumistaipumus ja halkeiluriski kasvavat. Tavoite betonoinnissa on käyttää niin jäykkää ja suurikivistä massaa, kuin betonointimenetelmät ja kohde sallii. (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201.)

Lämpötila vaikuttaa betonimassan sitoutumisaikaan. Normaalioloissa betonimassan lämpötila on noin +20 °C. Betonin sitoutumisaika voidaan puolittaa tai kaksinkertaistaa ± 10 °C muutoksella. Kylmissä olosuhteissa sitoutuminen voi kestää useita tunteja ja kuumabetonia käytettäessä sitoutuminen voi tapahtua alle puolessa tunnissa. (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201)

Ilmamäärä mitataan standardin SFS-EN 12350-7 mukaan. Betonin ilma- eli huokosmäärää voidaan lisätä lisääaineella. Huokostin lisätään betonin sekaan massan sekoitusvaiheessa. Ilmamäärän lisäämisellä betoniin syntyy lisää suojahuokosia, jotka parantavat sen pakkasenkestävyyttä. Betonin jäätyessä sen sisältämä vesi pääsee vapaasti laajentumaan suojahuokosiin eikä näin ollen aiheuta betoniin halkeamia. Huokostetun betonin ilmamäärä vaihtelee 4 – 8 % välillä kiviaineksen raekoon ja huokostusmäärän mukaan. (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201.)

4.2 Testimassojen laboratoriotutkimukset

Teimme betonista kolme eri koemassaa: tavallisen normaalimassan, lattiamassan eli kupuhierron ja säänkestävän kupuhierron. Liitteissä 5, 6 ja 7 on esitetty betonimassojen annosraportit. Jokainen massa oli yhden kuutiometrin kokoinen. Massat valmistettiin Rudus Oy:n Imatran tehtaalla. Testinäytteet otettiin suoraan myllyn suulta ennen autoon purkamista. Mukana massan teossa oli

Rudus Oy Lappeenrannan tehtaan kaksi betonimylläri/laboranttia. Testimassoja on vertailtu tavallisilla resepteillä tehtyihin vertailumassoihin.

4.2.1 Lattiamassa

Tavallinen kupuhierto valmistettiin ensimmäisenä. Kupuhierto on erikoisresepti, joka on pääosin 0/8 betonisorasta tehty massa mutta sisältää 16 mm raekoon kiveä. Massa on koostumuksensa ansiosta helppo työstää ja hiertää. Massassa käytettiin 95 % 0/16 mursketta ja 5 % filleriä, lisäksi massa notkistettiin VB PARMIX -notkistimella. Vertailumassa on valmistettu käyttäen filleriä, 0/8 betonisoraa ja 8/16 sorasepeliä.

Massan lämpötilaksi mitattiin 15 °C. Lämpötilaan vaikuttaa käytetyn veden ja kiviaineksen lämpötila. Lisäksi mylly oli kylmä pakkasyön jäljiltä, mikä lämpötilaan alentavasti ensimmäisen massan osalta. Koemassoissa veden lämpötila oli 20 °C ja kiviaineksella noin 10 °C.

Painumaksi mitattiin 20 cm heti massan valmistuksen jälkeen. Kuvassa 2. on esitetty painuman mittausta. Betoninormin sallittu raja on 15 cm, jossa saa olla 2,5 cm poikkeus. Näin ollen sallittu raja on 17,5 cm. Massan painuma mitattiin uudelleen tunnin kuluttua massan teosta, jolloin painuma oli 14 cm. Massan purun toisin sanoen oletetaan alkavan työmaalla noin tunnin kuluessa massan valmistuksesta, joten massa on purkuhetkellä vaadituissa rajoissa. Massasta tehtiin kolme koekappaletta, joiden puristustuloksia vertaillaan vastaaviin vertailumassoihin (Kupu Imatra ja Kupu Lappeenranta). Valmistaja voi itse tehdä betoninlujuuskokeet, joten näillä koekappaleilla saatiin suuntaa antavat tiedot betonin lujuuskehityksestä. Koekappaleista testattiin 7 ja 28 päivän lujuudet. Myöhemmässä vaiheessa varmistetaan 92 päivän lujuus. Vertailumassat ovat tehty käyttäen filleriä, 0/8 betonisoraa ja 8/16 sorasepeliä. Massan tavoitelujuutena oli K-30. (Betoninormit 2004 by 50.)



Kuva 2. Säänkestävän kupuhierron painuman mittaus tunnin kuluttua massan valmistumisesta

4.2.2 Säänkestävä lattiamassa

Säänkestävä kupuhierto valmistettiin pääosin samalla reseptillä kuin tavallinen kupuhierto. Reseptiin lisättiin 45 kg sementtiä, vähennettiin kiviaineksen määrää noin 50 kg ja vesimäärää 15 litraa. Lisäaineena käytettiin PARMIX L -huokostinta, joka lisää massan ilmamäärää. Massan lämpötila oli 18,7 °C. Edellistä massaa korkeampi lämpötila johtui myllyn lämpenemisestä kylmän pakkasyön jäljiltä. Painumaksi mitattiin heti massan teon jälkeen 20 cm ja tunnin kuluttua 9,5 cm.

Säänkestävä kupuhiertomassa jäykistyi hieman tavallista kupuhiertoa nopeammin, koska 15 litran veden vähennys aiheutti paremman vesisementtisuhteen. Säänkestävyyden vuoksi massan tulee sisältää riittävästi ilmahuokosia. Ilmamäärä riippuu täysin huokostimen annostelusta. Näin ollen yksittäistä massaa tehdessä on vaikeaa arvioida oikea annostus. Annostus on helpoin säätää koh-

dalleen suuremmissa valuissa, jossa betonia tehdään useita kuormia. Tavoitteena massalle oli 5 %:n ilmamäärä ja mitattu tulos oli 6,7 %. Tavoitelujuus massalle oli K-35. Massasta tehtiin neljä koekappaletta. Lujuuskokeiden lisäksi neljänneistä koekappaleesta voidaan teetättää tarvittaessa jatkotutkimuksia.

4.2.3 Normaalimassa

Viimeiseksi valmistimme lisääineettoman normaalimassan. Massa vaatii karkeampi rakeisempaa kiviainesta kuin lattiamassat, joten lisäsimme 8/16 mm raekoon kiveä betonireseptiin. Annossuhteet olivat 0/16 mursketta 75 %, filleriä 7 % ja 8/16 sorasepeliä 18 %. Tavallisessa massassa 8/16 sorasepelin tarve on noin 40 %, eli sen käyttöä voidaan tällä reseptillä vähentää puolella. Massan lämpötilaksi mitattiin 18,3 °C. Painuma oli 14,5 cm ja tunnin kuluttua 13 cm. Massasta tehtiin 3 koekappaletta.

4.2.4 Koetulokset

Taulukossa 3. on esitetty yhteenveto betonin laboratoriotestien tuloksista. Massojen tavoitenotkeus oli S2 eli notkea. Luokitus tekoheikellä oli vetelä eli S4. Tunnin kuluttua valmistuksessa massat ovat jo hieman jähmettyneet ja notkeus on notkean ja vetelän rajalla. Notkeusluokituksen mukaan massat olivat tässä vaiheessa luokitukseltaan veteliä eli S3. Notkeutta kuitenkin voidaan muunnella vähentämällä käytettyä vesimäärää ja nostamalla massan lämpötilaa.

Lämpötilat betonimassoissa olivat normaalit. Tavoitelämpötilana oli 20 °C. Betoni sitoutuu näin ollen normaalisti eikä liian nopeasta sitoutumisesta aiheutuvista haitoista ole vaaraa. Lämpötilaa voidaan nostaa käyttämällä kuumempaa vettä ja lämmittämällä kiviainesta höyryttämällä.

Taulukko 3. Testimassojen koetulokset

	Kupu	Kupu SK	Normaali
Painuma (cm)	20	20	14,5
Painuma 1h kuluttua (cm)	14	9,5	13
Lämpötila (°C)	15	18,7	18,3
Ilmamäärä (%)		6,7	

Koekappaleiden pinnat tasattiin niiden seisottua pari tuntia valmistuksen jälkeen. Tässä vaiheessa koekappaleiden pintaan oli erottunut hieman vettä. Kuvassa 3. erottuminen näkyy selvästi. Syitä vedenerottumiseen ovat massan notkeus, hienoaineksen karkeus ja vähäisyys. Tässä tapauksessa veden erottuminen ei ollut niin suurta, että se aiheuttaisi toimenpiteitä. Jos asiaa kuitenkin tutkisi tarkemmin, ensimmäiseksi kannattaa selvittää kiviaineksen ominaispinta-ala. (Junttila 2010.)



Kuva 3. Koekappaleiden pintaan erottunut vesi ennen päiden tasausta

Massat vaikuttivat valmistushetkellä ulkoisesti ja testien mukaan samanlaisille kuin tavallisilla kiviaineksilla tehdyt vertailumassat. Standardien SFS-EN mukaisen testien perusteella estettä niiden käyttämiselle työmaakäytössä ei laboratoriotesteissä löytynyt. Käyttökelpoisuuden kuitenkin määrää tavoitelujuudet, jotka saadaan puristamalla 28 vuorokautta kovettuneet koekappaleet. Mikäli tavoitelujuus ei täyty, betonia ei voida käyttää, sen ollessa suunniteltuun käyttö-tarkoitukseensa liian heikkoa.

4.3 Tulokset

4.3.1 Koekappaleet

Koekappaleiden teossa käytettiin kalibroituja standardien SFS-EN mukaisia muotteja. Kappaleet purettiin muoteista vuorokauden kuluttua valmistuksesta ja laitettiin vesialtaaseen kovettumaan. Altaan tarkoitus on estää betonin plastinen kutistuminen. (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201.) Altaasta koekappaleet otettiin päivää ennen puristamista kuivamaan.

Ennen puristusta koekappaleiden molemmat päät rikitettiin tarkemman tuloksen saamiseksi. Rikityksellä tarkoitetaan toimenpidettä, jossa rikkiseos sulatetaan ja koekappaleen pää uitetaan rikissä. Tuloksen tarkkuus perustuu rikityksen tekemään tasaiseen koekappaleen pintaan. Ilman rikitystä pinta on epätasainen ja vääristää hieman puristustulosta. Kuvassa 4. on 28 vuorokauden ikäiset rikitetyt koekappaleet merkintöineen.

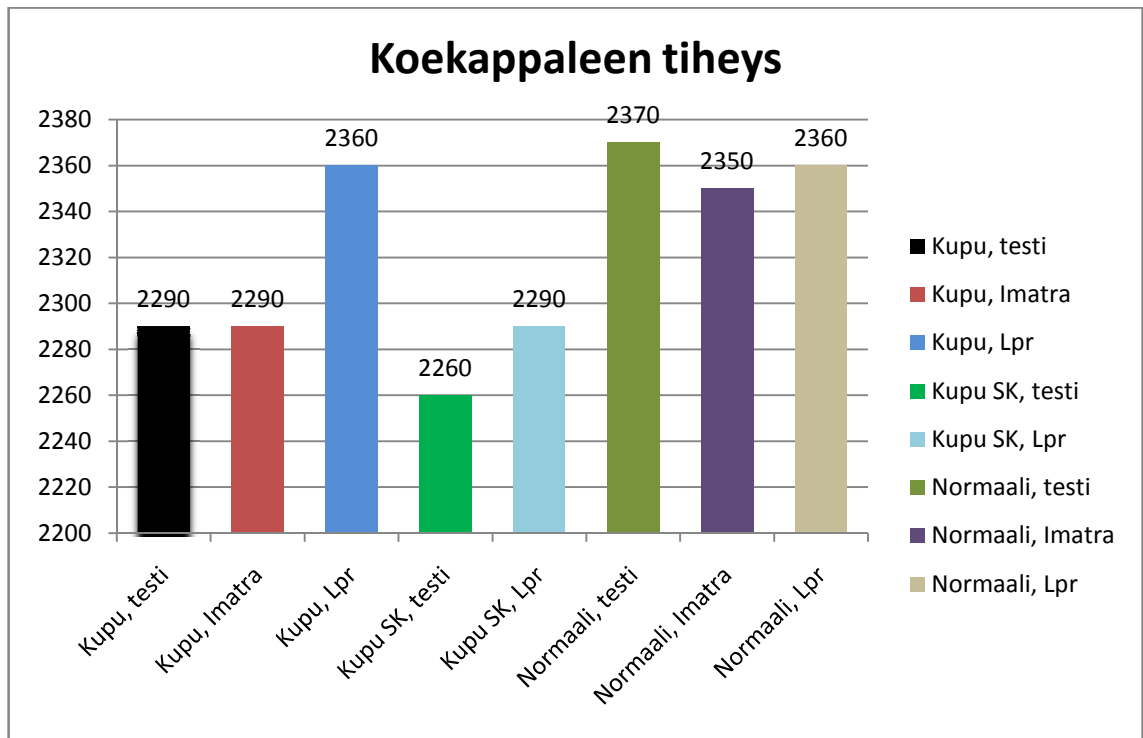


Kuva 4. Koekappaleet joiden päät ovat rikitetty

4.3.2 Betonin tiheys

Tiheyteen vaikuttaa betonin sisältämät huokokset. Kun betonia vibrataan, sitä tiivistetään. Vibrauksella tarkoitetaan betonimassan tiivistämistä ja ylimääräisen ilman poistamista. Betoni tiivistyy pienempää tilaan ja lujuus kasvaa. Lujuuteen vaikuttaa myös betonin vesi-sementtisuhde. Mitä vähemmän betoni sisältää vettä, sitä enemmän sen sementtihiukkaset muodostavat neulamaisia kiteitä, jotka parantavat lujuutta. Hyvin tiivistetty betoni on kovettuessaan lujaa ja tiheää. Taulukossa 4. on esitetty tulokset testi- ja vertailumassojen tiheyksistä. (Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201.)

Taulukko 4. Koekappaleiden tiheydet

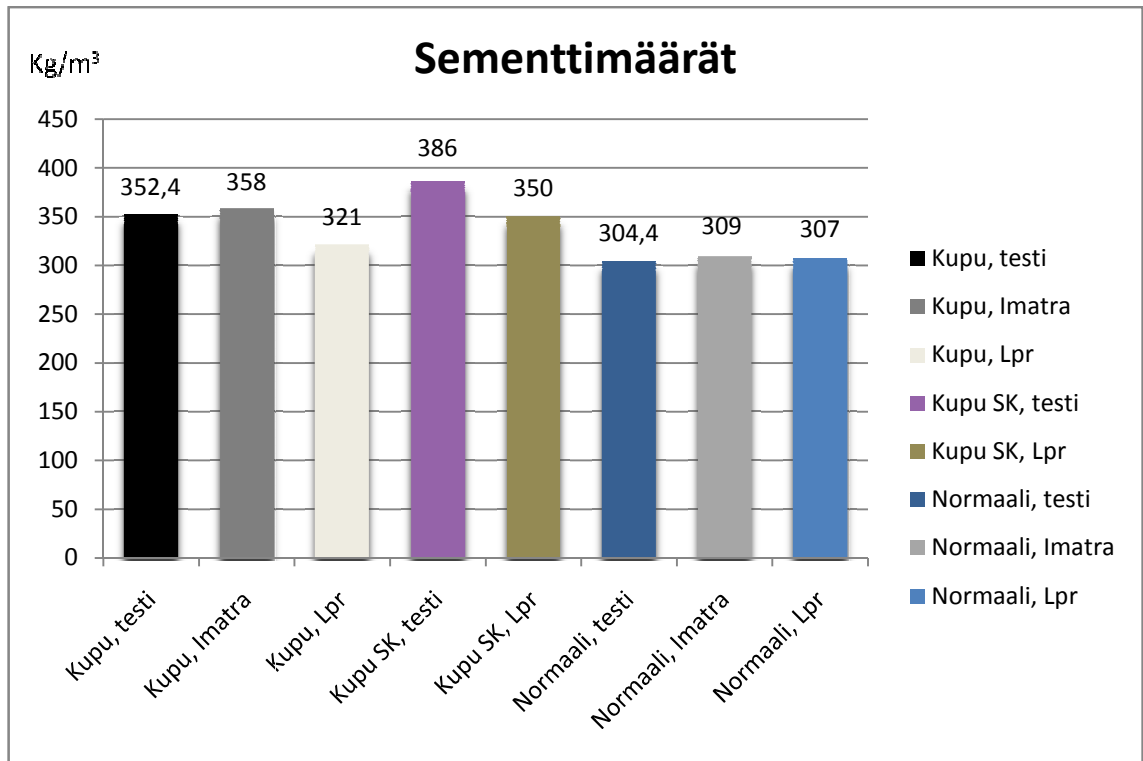


Koekappaleiden analysointi alkoi niiden punnituksella ennen rikitystä. Painot syötettiin Rudus Oy:n laskentaohjelmaan, joka ilmoittaa koekappaleen tiheyden. Tiheyteen vaikuttaa betonimassan sisältämä ilmamäärä. Betonin tiheydestä voi päätellä koekappaleen tiivistymisen onnistumista ja vibrausajan vaihtelua. Tarkin tulos saadaan, kun yksi henkilö vibraa kaikki vertailukappaleet mutta tässä tapauksessa se ei ollut mahdollista. Säänkestävän kupuhierron tiheys on hieman vertailutulosta alempi. Todennäköisesti tämä johtuu hieman lyhyemmästä vibrausajasta.

4.3.3 Sementtimäärät

Testimassoja tehdessämme pyrimme käyttämään samoja sementtimääriä kuin vertailuresepteissä. Taulukossa 5. on esitetty massoissa käytetyt sementtimäärät.

Taulukko 5. Testi- ja vertailumassojen sementtimäärät



Säänkestävän kupuhierron sementtimäärä on hieman korkeampi, koska vertailumassan resepti puuttui Imatran tehtaalta. Tavoitelujuus ylittyi 1,2 Mpa:n turvin, joten tavoitelujuus täyttyi. Muutoin sementtimäärät olivat tasaiset. Normaali-massan sementtimäärä oli jopa pienempi kuin Imatran ja Lappeenrannan vertailumassoissa.

4.3.4 Koekappaleiden puristuslujuudet

Koekappaleet puristettiin Rudus Oy:n omalla koekappalepuristimella. Kuvassa 5. on käytössä ollut puristin. Puristin antaa tulokset kilonewtoneina ja megapascalina. Puristuskokeesta saadut kilonewtonit syötetään tehtaan laskentaohjel-

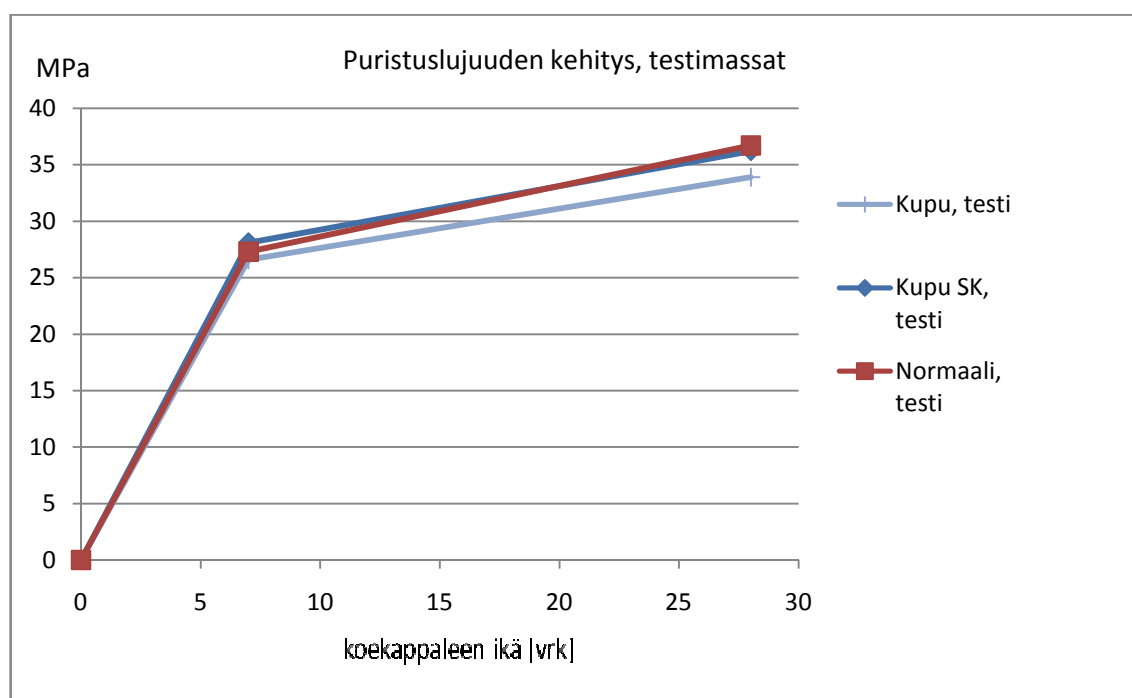
maan, joka antaa tarkan loppulujuuden megapascalina. Puristustulokset ovat esitetty Taulukossa 6. Imatran ja Lappeenrannan vertailumassojen puristustulokset ovat Taulukoissa 7 ja 8.



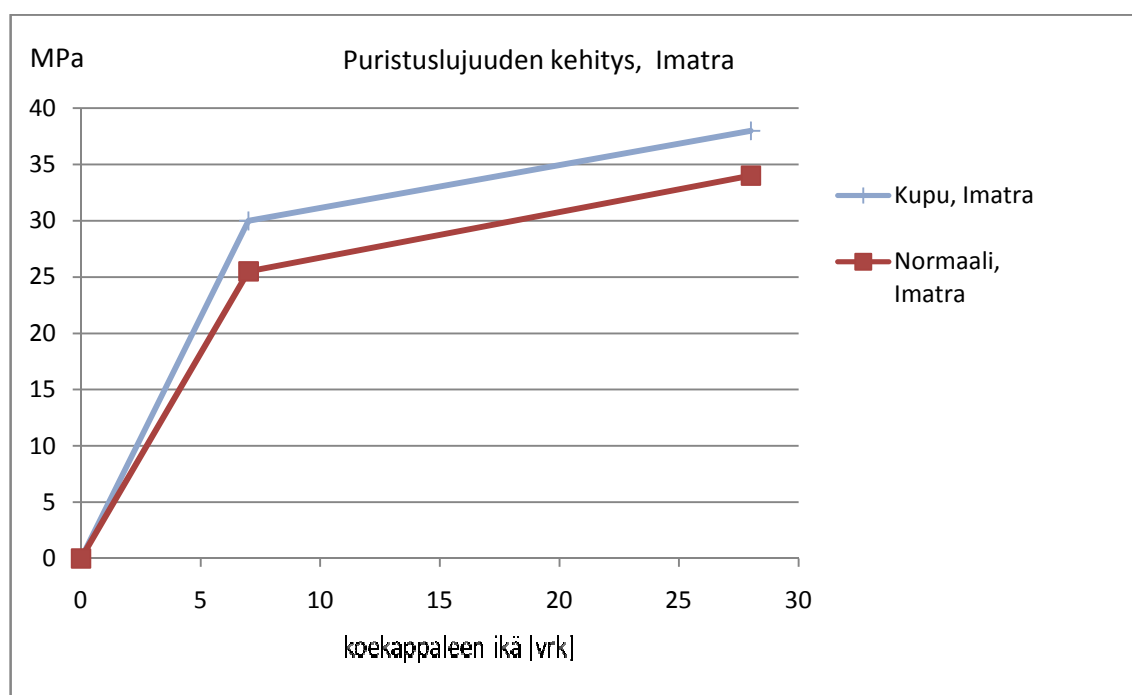
Kuva 5. Koekappalepuristin, Controls AUTOMAX5

Vertailussa käytetyt massat ovat tehtailla viimeisimmäksi tehdyt vastaavat massat. Näin ollen vertailupohja on hyvä ja luotettava. Sementin kausittainen lujuuserojen vaihtelu ei vaikuta lopputuloksiin merkittävästi.

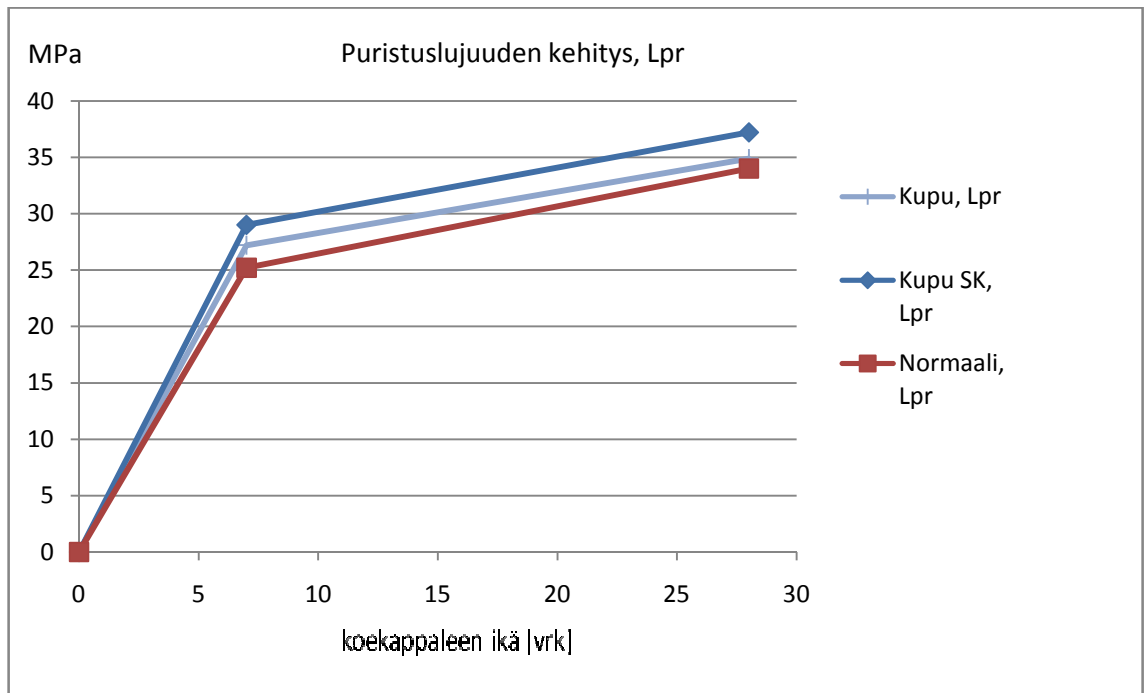
Taulukko 6. Testimassojen koekappaleiden puristuslujuudet



Taulukko 7. Imatran vertailumassojen koekappaleiden puristuslujuudet



Taulukko 8. Lappeenrannan vertailumassojen koekappaleiden puristuslujuudet



Tavoitelujuudet täyttyivät kaikissa massoissa. Paras tulos oli normaalimassalla, jonka tavoitelujuus oli 30 MPa ja loppulujuus 36,7 MPa. Ylilujuuden pienentämiseksi sementtimäärää voisi vähentää. Näin ollen massan tuotantokulut vähenevät entistä enemmän. Imatran ja Lappeenrannan vertailumassoissa loppulujuus oli 34 MPa.

Heikoin tulos oli säänkestävällä kupuhiertomassalla. Loppulujuus 36,2 MPa ei kuitenkaan jäänyt tavoitelujuuden 35 MPa alle. Vertailumassan tulos Lappeenrannassa oli 37,2 MPa, joten ero ei kuitenkaan jäänyt suureksi. Testimassassa käytetty sementtimäärä oli kuitenkin 36 kg vertailumassan sementtimäärää suurempi, joten loppulujuuden olisi pitänyt olla vertailumassaa suurempi.

Tavallisen kupuhierron osalta tilanne oli miltei sama säänkestävän kanssa. Imatran vertailumassassa käytetty sementtimäärä oli suurempi mutta myös ylilujuus 8 MPa huomattava. Testimassan ja Lappeenrannan vertailumassan ero oli testimassan noin 30 kg:n suurempi sementtimäärä.

5 PÄÄTELMÄT

Soramurskeen käyttö valmisbetonituotannossa on näiden tutkimusten perusteella täysin mahdollista. Kiviainekselle tehdyt testit täyttivät kaikki standardien SFS-EN ja Betonin kiviainekset 2008 by 43 vaatimat rajoitukset. Myöskään betonimassalle tehdyissä testeissä ei ollut poikkeamia tavallisiin vertailumassoihin verrattaessa.

Testimassojen loppulujuudet vastasivat vertailumassojen loppulujuuksia. Tutkimustuloksien perusteella soramurske kannattaa ottaa testikäyttöön valmisbetonitehtailla. Testikäytössä saadaan tuloksia laajemmalla otannalla ja reseptien annosmäärät tarkentuvat. Näin ollen sementti- ja kiviainesmäärät asettuvat tarkemmin kohdilleen.

Eräs rajoittava tekijä on kuitenkin betonitehtaiden siilokapasiteetit. Soramurskeen käyttö vaatisi ainakin yhden kiviainessiilon lisää. Kaikilla tehtailla ei ole mahdollisuutta vapauttaa silloa tähän käyttöön, ja soramurskeen käytön tuomat säästöt eivät välttämättä tue investointia lisäsiiloihin. Lisäksi on olemassa pieni riski soramurskeen rakeisuuden hallittavuudesta kiviainessiilossa, jonka takia sen käyttäytyminen kannattaa tutkia tarkemmin.

Toinen selvityksen kohde on 0/16 soramurskeen käytön tuomat säästöt ja ympäristövaikutukset. Tutkimuksen perusteella 0/16 soramurskeen käyttö lisää taloudellista säästöä niin soramontulla kuin betonitehtaalla. Ympäristövaikutukset tulevat pienenemään tuotannon sujuvuuden ja tehokkaamman hyödyntämisen johdosta.

KUVAT

Kuva 1. Kiviaineksen varastointi kerroksittain, s. 10

Kuva 2. Säänkestävän kupuhierron painumanmittaus tunnin kuluttua massan valmistumisesta, s. 17

Kuva 3. Koekappaleiden pintaan erottunut vesi ennen päiden tasausta, s. 19

Kuva 4. Koekappaleet joiden päät ovat rikitetty, s. 21

Kuva 5. Koekappalepuristin, Controls AUTOMAX5, s. 24

TAULUKOT

Taulukko 1. Työn kulku, s.6

Taulukko 2. Kiviainestestien tulokset ja luokitus, s.13

Taulukko 3. Testimassojen koetulokset, s.19

Taulukko 4. Koekappaleiden tiheydet, s.22

Taulukko 5. Testi- ja vertailumassojen sementtimäärät, s. 23

Taulukko 6. Testimassan koekappaleiden puristuslujuudet, s.25

Taulukko 7. Imatran vertailumassojen koekappaleiden puristuslujuudet, s.25

Taulukko 8. Lappeenrannan vertailumassojen koekappaleiden puristuslujuudet, s.26

LÄHTEET

Betonin kiviainekset 2008 by 43. Suomen Betonitieto Oy.

Betoninormit 2004 by 50, Suomen Betonitieto Oy

Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. Suomen Betonitieto Oy.

Junttila, P. 2010. Kiviaineksen laatuominaisuuksien vaikutus betonin kustannustehokkuuteen. Teknillinen korkeakoulu Espoo. Diplomityö, s. 32

Kiviainesten ominaisuuksien vaikutus betonin ominaisuuksiin. Rudus Oy 29.11.2002. s.3, 18

SFS-EN 932-3. 2000. Kiviainesten yleisten ominaisuuksien testaus. Osa 2: Laboratorionäytteiden jakaminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 933-1, 2003 Kiviainesten geometristen ominaisuuksien testaus, Osa 1: Rakeisuuden määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 933-3. 2003. Kiviainesten geometristen ominaisuuksien testaus. Osa 3: Raemuodon määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 1097-6. 2001. Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 6: Kiintotiheyden ja vedenimeytymisen määrittäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 1744-1, 2004. Kiviainesten kemiallisten ominaisuuksien testaus. Osa 1: Kemiallinen analyysi. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 12350-2. 2000. Tuoreen betonin testaus. Osa 2: Painuma. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SFS-EN 12350-7. 2000. Tuoreen betonin testaus. Osa 7: Ilmamäärä. Painemittaukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

Suomen Rakentamismääräyskokoelma, Ympäristöministeriö, Asunto ja rakennusosasta, Osa B4, Betonirakenteet, Ohje 2001, s.41